مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، سال پانزدهم، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹٦، شمارهٔ پیاپی ۲۹

DOI: 10.22067/geography.v15i2.65172

طراحی اقلیمی و تعیین جهت‌گیری بهینهٔ ساختمان‌ها و خیابان‌ها در رابطه با تابش در شهر مشهد

علی بهزادیان‌مهر (دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، نویسندهٔ مسئول)
behzadianmehr@yahoo.com
بهلول علیجانی (استاد آب‌وهواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران)
bralijani@gmail.com
محمدرحیم رهنما (استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران)
rahnama@um.ac.ir

صص ۲۱٦ ـ ۱۹۷

چکیده

اهداف: هدف از انجام این پژوهش، تعیین بهترین جهت آرایش فضایی ساختمان‌ها و خیابان‌ها با توجه به انرژی دریافتی و ایجاد شرایط آسایش، به‌عنوان اصلی برای تصمیم‌گیری در فرایند توسعهٔ پایدار شهری است.

روش: پس از تعیین وضعیت آسایش اقلیمی توسط شاخص‌های حرارتی PET و PM، و بعد از تفکیک سال به دوره‌های سرد و گرم، برای تعیین میزان انرژی دریافتی جهت‌های مختلف ساختمان‌ها از انرژی دریافتی، از روش روابط کسینوسی استفاده شد.

یافته‌ها/ نتایج: شهر مشهد، در بیش از ۵۵ درصد از موارد ایام سال در محدودهٔ تنش سرد قرار می‌گیرد. ماه سپتامبر حداکثر انرژی معادل ۱۳۳۲۰ BTU را درطول سال دریافت می‌کند. جهت جنوب‌شرقی بهترین جهت برای نمای اصلی ساختمان‌ها و جهت شمال‌شرقی- جنوب‌غربی بهترین گزینه برای کشیدگی خیابان‌ها و معابر است.

نتیجه‌گیری: با توجه به غلبهٔ تنش سرمایی و دوری‌جستن از گرمای دورهٔ گرم و با انگیزهٔ کاهش اتکا به وسایل مکانیکی و تأمین شرایط آسایش، جهت‌گیری ساختمان‌ها و کشیدگی خیابان‌ها و معابر در طراحی‌های جدید و بازسازی بافت‌های فرسوده، بایستی بر نتایج حاصل از این پژوهش منطبق باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۰۳/۲۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹٦/۰۷/۰٤

کلیدواژه‌ها: طراحی اقلیمی، تابش ، شهر مشهد، جهت‌گیری ساختمان‌ها، کشیدگی خیابان‌ها.

۱. مقدمه

امروزه سهم جمعیتی که در نواحی شهری زندگی می‌کنند، درحال‌افزایش است و در این اوضاع، مسائلی همچون افزایش کیفیت زندگی شهروندان (آلکوفوریدو، آندرید، لوپز و وسکون سلاس[1]، ۲۰۰۹، ص. ٥٦)، توجه به محدودبودن ذخایر سوخت‌های فسیلی برای تأمین انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سوزاندن آن‌ها (شفیعی، فیاض و حیدری، ۱۳۹۲، ص. ٤٧)، ایدهٔ مساکن پایدار به‌عنوان جدیدترین ایدهٔ شهری مبتنی‌بر تکیهٔ سکونتگاه‌ها بر طراحی منطبق با طبیعت مطرح شده است (میلز[2]، ۲۰۰٦، ص. ٦٩). چنین رویکردی مستلزم تبیین شرایط اقلیمی محل برای برخورداری از وضعیتی است تا شهر بتواند در سایهٔ سازگاری با آن در حیطهٔ کارکردی خویش فعالیت کند. هدف از انجام این پژوهش، تعیین بهترین جهت آرایش فضایی ساختمان‌ها و خیابان‌ها با توجه به انرژی دریافتی محل به‌عنوان اصلی برای تصمیم‌گیری در فرایند توسعهٔ پایدار شهری، ازطریق محاسبهٔ محدوده‌های اقلیمی- آسایشی و روش روابط کسینوسی است. مشهد، دومین کلان‌شهر ایران پس از تهران و مرکز استان خراسان رضوی است. این شهر با جمعیت بیش از ۳ میلیون نفر (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)، هر ساله پذیرای میلیون‌ها زائر داخلی و خارجی است و به‌عنوان پایتخت فرهنگی جهان اسلام در سال ۲۰۱۷، از جایگاه بین‌المللی ویژه‌ای برخوردار است؛ براین‌اساس، بررسی بهترین شرایط کالبدی طراحی شهری منطبق با وضعیت آب‌وهوایی این شهر، ضروری به‌نظر می‌رسد.

۲. پیشینهٔ تحقیق

پیشینهٔ ملاحظات اقلیمی و دخالت آن در برنامه‌ریزی‌های شهری از سابقهٔ قابل‌توجهی برخوردار است. قدیمی‌ترین اسناد دربارهٔ تعامل شهر و اقلیم را می‌توان در آثار ویترو[3]، معمار رومی در اروپا و فلسفهٔ فن فنگ‌شویی در چین مشاهده کرد. در قرن نوزدهم، شهر مکانی

1. Alcoforado, Andrade, Lopes, & Vasconcelos
2. Mills
3. Vitruve

برای برنامه‌ریزی و ملاحظات بهداشتی قرار گرفت. غبار، گرما، آلودگی و فقدان نور خورشید، تفکر دربارهٔ فیزیولوژی نواحی پرتراکم جمعیت، خانه‌سازی، طراحی خیابان‌ها، پارک‌ها و فضای سبز را به‌جریان انداخت. تا پایان قرن نوزدهم میلادی، فعالیت‌های محققان آلمانی منجر به بهبود شرایط آسایش در شهرها تا اندازه‌ای کم شد. تلاش‌های این گروه منجر به ظهور میکروکلیماتولوژی و شکل‌گیری اصطلاحات جدیدی همانند آب‌وهوای محلی، آب‌وهوای خاص، آب‌وهوای خرد و آب‌وهوای شهری شد (یانکویچ و هبرت[1]، ۲۰۰۹، ص. ۹). پس از دهۀ ۱۹۳۰ و به‌ویژه پس از جنگ جهانی دوم، شهرنشینی با رشد شگفت‌انگیزی همراه بوده است که این موضوع منجر به این شد تا محققان اروپایی و آمریکای شمالی آثاری را ارائه کنند و مطالعاتی را انجام دهند (اسکورو، ۱۳۷۷، ص. ۵۷). بااین‌وجود، نقطهٔ اوج توسعهٔ روش‌ها و فنون ارزیابی آسایش حرارتی به‌کاررفته برای طراحی و برنامه‌ریزی شهری را می‌توان به اک[2] (۱۹۸۲–۱۹۸۱) نسبت داد (آسیس و فروتا[3]، ۱۹۹۹، ص. ٤١٣٦). سابقهٔ درهم‌تنیدگی مطالعات سکونتگاهی و شرایط محیطی ازجمله آب‌وهوا، در کشور ما نیز از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده است. نظری اجمالی بر معماری ایران در عهد باستان این ویژگی را آشکار می‌سازد که معماری ایرانی بر سه اصل استحکام، آسایش و انبساط پایه‌گذاری شده است (شاطریان، ۱۳۹۲، ص. ۲۷). متأسفانه، ازیک‌سو با ورود سبک معماری جدید به ایران و تغییر سبک ساخت‌وساز و ازسوی‌دیگر، رعایت‌نکردن اصول صحیح همسازی با اقلیم، عدم آسایش حرارتی در داخل بناها، افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی اجتناب‌ناپذیر شد؛ بنابراین، امروزه، انطباق با شرایط محیط طبیعی و درنظرگرفتن شرایط اقلیمی و آسایشی می‌تواند به تعبیری، شاخصی برای درک ارزش معماری (محمدی، ۱۳۸۵، ص. ١٤١) تلقی شود. در دو دهۀ اخیر، محققان و پژوهشگران مختلف کشور ما فعالیت‌های متعددی را با هدف پررنگ‌کردن نقش اقلیم در ساخت‌وسازها و معماری شهری انجام داده‌اند که در یک تقسیم‌بندی کلی، کارهای آنان را می‌توان در این شاخه‌ها خلاصه کرد: برخی میزان انطباق بناها را با شرایط اقلیمی مطالعه کرده‌اند (طاوسی، عطایی و کاظمی، ۱۳۸۷؛ طاهباز، جلیلیان و موسوی، ۱۳۹۱)؛ برخی نیز با مطالعهٔ شرایط اقلیمی و با درنظرگرفتن شرایط اقلیم–

1. Jankovic & Hebbert
2. Oke
3. Assis & Frota

آسایش، توصیه‌هایی را برای ساخت‌وسازها مطرح کرده‌اند (علیجـانی، ۱۳۷۳؛ ملـک‌حسـینی و درگاهی، ۱۳۸۹ ؛ شیخ‌بیگلو و محمدی، ۱۳۸۹)؛ عـده‌ای بـه‌طورویژه بـا اسـتفاده از مـدل‌هـای تجربی و با استفاده از رایانه، اقدام به تحلیل انطباق و یا سازگاری فضـای شـهری و معـابر بـا وضعیت اقلیمی محل کرده‌اند و توصیه‌هایی را دراین‌زمینه ارائه کرده‌اند (لشـگری و پورخـادم نمین، ۱۳۸٤؛ لشگری، موزرمی و لطفی، ۱۳۹۰؛ منشی‌زاده، حسینی و اجـاق، ۱۳۹۲) و بعضـی نیز با توجه به اقلیم مناطق و غلبهٔ گرما و سـرما درطـول سـال، بهتـرین انطبـاق جهـت‌گیـری ساختمان‌ها را با میزان دریافت انرژی تابشی تعیین کردند (فرج‌زاده و عباسـی، ۱۳۹۱؛ اکبـری، هادوی، زمانی و علیپور، ۱۳۹۵).

۳. روش‌شناسی تحقیق

۳. ۱. روش تحقیق

برای انجام این پژوهش، ابتدا به تعیین وضعیت زیست‌اقلیمی شهر مشهد بـا اسـتفاده از دو شاخص حرارتی پت[1] و پی.ام.وی[2] (که همزمان نوع عملکرد انسان و پاسخ‌های فیزیولوژیـک او را درنظر مـی‌گیرنـد (مـاتزاراکیس و آملانـگ[3]، ۲۰۰۷، ص. ۱٤۳))، بـه‌صـورت توصـیفی و تحلیلی پرداخته شد. سپس، بعد از تفکیک سال به دوره‌های سرد و گـرم، بـرای تعیـین میـزان انرژی دریافتی جهت‌های مختلف ساختمان‌ها از انرژی دریـافتی، از روش روابـط کسینوسـی استفاده شد. مواد مورداستفاده در این پژوهش شامل عناصر موردسنجش دما، رطوبـت نسـبی، میـزان ابـری‌بـودن آسـمان، سـرعت بـاد در یـک دورهٔ ۳۰ سـاله (۱۹۷۹–۲۰۰۸) در ایسـتگاه هواشناسی مشهد بوده است.

در این مطالعه، برای محاسبهٔ شاخص‌های حرارتی با توجه به جایگـاه مؤلفـه‌هـای اقلیمـی درجهٔ دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و میزان ابـری‌بـودن آسـمان، داده‌هـای بـه‌دسـت‌آمـده از سنجش عناصر ذکرشده به‌تفکیک درقالب اوقات هشت‌گانـه (۰، ۳، ٦، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱) در هر شبانه‌روز و درطول یک ماه استخراج شد و سپس، هرکدام از عناصر درطول مـاه مـوردنظر میانگین‌گیری شد. پس از آن، همین عملیات برای هر ماه درطول ۳۰ سال تکرار شد و متوسـط

1. Physiological Equivalent Temperature (PET)
2. Predicted Mean Vote (PMV)
3. Matzarakis & Amelung

ماهانهٔ هرکدام از عناصر به‌تفکیک ماه و ساعت به‌دست آمد. بدین‌صورت، داده‌های موردنیاز برای ورود به نرم‌افزار ریمن[1] که برای محاسبهٔ شاخص‌ها درنظر گرفته شده بود؛ مهیا شد. نتیجهٔ این کار استخراج شرایط آسایشی برای هرکدام از ماه‌ها و در ساعات موردنظر بود که ازطریق آن، ماتریسی با ۹٦ یافته برای کل سال به‌دست آمد که ارزش عددی هرکدام از یافته‌ها توزیع شرایط آسایش را درطول هر ماه و ساعت موردنظر نشان می‌داد. با توجه به اینکه هدف در پژوهش حاضر، کسب پاسخ مطلوب متناسب با اهداف تحقیق و کاربرد آن برای مقاصد شهری بود، آستانه‌های حرارتی شاخص‌های ذکرشده به سه دورهٔ گرم، آسایش و سرد تقسیم شد (جدول ۱). معیار تقسیم‌بندی در این روش، علاوه‌بر اختصاص‌دادن آستانه‌های عددی به این طبقات، تأمین آسایش افراد در شرایط گرم و سرد با کمترین کاربرد تجهیزات گرمایشی، سرمایشی و البسه بوده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی کلی آستانه‌های کیفی و کمی شاخص‌های حرارتی PET و PMV

مأخذ: ذوالفقاری، ۱۳۸۹، ص. ۱۲۱ (با کمی تغییر)

شاخص‌ها	تنش سرد	بدون‌تنش (آسایش)	تنش گرم
PET	<۱۸	۱۸ – ۲۳	>۲۳
PMV	<-۰/۵	(-۰/۵) – (۰/۵)	>۰/۵

برای سهولت بررسی و درک شرایط غالب آسایشی، جدول توزیع فراوانی آستانه‌های شاخص‌ها نیز برای ایستگاه شهر مشهد تشکیل شد و پس از محاسبهٔ فراوانی‌های مطلق، درصد فراوانی مطلق و فراوانی تجمعی، درصد فراوانی تجمعی محاسبه شد.

محاسبهٔ شاخص‌های حرارتی، وضعیت کلی آسایشی و شرایط تنش دمایی غالب را مشخص می‌کند؛ اما، برای تعیین میزان انرژی دریافتی در هرکدام از جهات جغرافیایی توسط سطوح قائم کاربردی ندارد. برای محاسبهٔ مقدار انرژی تابیده‌شدهٔ خورشید روی سطوح قائم روش‌های متعددی وجود دارد (فرج‌زاده و عباسی، ۱۳۹۱) که در این پژوهش از روش محاسباتی استیفنسون[2] (کسمایی، ۱۳۸۲، ص. ۲۸؛ محمدی و لشگری، ۱۳۹۳، ص. ۷۲) به شرح زیر استفاده شد:

1. RayMan
2. D.G.Stephenson

$I_s = I_N \cos\theta$

در رابطهٔ بالا:

I_s = شدت تابش روی سطح ($BTU/h/ft^2$)[۱]

I_N = شدت تابش روی سطح عمود بر پرتوی خورشید ($BTU/h/ft^2$)

θ = زاویهٔ میان شعاع خورشید و خط عمود بر سطح (زاویهٔ برخورد)

در این رابطه:

$I_N = A/\ \exp B/\ \sin\beta$

I_N = حرارت حاصل از تابش مستقیم و عمودی آفتاب برحسب $BTU/h/ft^2$

A و B = به‌ترتیب ضریب خاموشی اتمسفری و ضریب فرمول کدری انگسترم است که از جدول ثابت استخراج می‌شود (فرج‌زاده و عباسی، ۱۳۹۱؛ محمدی و لشگری، ۱۳۹۳، ص. ۷٦).

β = زاویهٔ تابش (ارتفاع تابش)

همچنین، θ زاویهٔ تلاقی میان پرتوی خورشید و خط عمود بر یک سطح عمودی (زاویهٔ برخورد) است که به‌وسیلهٔ معادلهٔ کسینوس کروی معین می‌شود (فرج‌زاده و عباسی، ۱۳۹۱، ص. ٤٧):

$\mathrm{Cos}(\theta) = \cos(\beta)\,(\cos\phi - \cos\varphi)$

در این رابطه:

β = زاویهٔ تابش (ارتفاع خورشید)

ϕ = زاویهٔ جهت تابش

φ = زاویهٔ جهت دیوار که در مسیر عقربه‌های ساعت ازطرف شمال و برحسب درجه اندازه‌گیری می‌شود.

برای عملیاتی‌کردن فرمول‌های ارائه‌شده، جداولی برای محاسبهٔ میزان انرژی دریافتی هرکدام از ماه‌ها و در ٢٤ جهت جغرافیایی روی یک دیوار قائم طراحی شدند و ارقام به‌دست‌آمده برمبنای $BTU/h/ft^2$ در هر ماه جداگانه ثبت گردیدند (جداول ۲ و ۳). با توجه به اینکه این محاسبات شرایطی را درنظر می‌گیرند که هوا کاملاً آفتابی است، از این نظر اعداد

---

۱. BTU مخفف British Thermal Unite است. یک BTU برابر با 10^{-3}کالری انرژی است (طاوسی، ۱۳۹۰، ص. ۲۹)

ثبت‌شده جنبهٔ نظری دارند؛ بنابراین، برای تبدیل اعداد به‌دست‌آمده به‌صورت واقعی، ضرب آن‌ها در ضریب ساعتی محل (درصد ساعات آفتابی) الزامی است. برای به‌دست‌آوردن ضریب ساعات آفتابی، ابتدا مقدار ساعات آفتابی هر ماه از آمار هواشناسی ایستگاه مشهد در هریک از ماه‌ها استخراج شد. سپس، مجموع ساعات آفتابی ذکرشده به طول روزهای آن ماه تقسیم شد و سپس، متوسط طول روز در آن ماه محاسبه شد و متوسط ساعات آفتابی بر طول روز آن ماه تقسیم گردید و به‌این‌ترتیب، ضریب ساعت آفتابی به‌دست آمد (جدول ٤).

پس از محاسبهٔ ضرایب ساعتی ماهانه، ارقام انرژی دریافتی نظری در ضریب ساعتی ماهانه ضرب شد که نتیجهٔ کار محاسبهٔ میزان انرژی دریافتی به شکل واقعی بود. پس از تعیین انرژی دریافتی به شکل نظری و واقعی، با توجه به غلبهٔ اقلیم سرد و ضرورت تعیین بهترین جهت برای کسب انرژی در دورهٔ سرما و حداقل دریافت گرما در مواقع گرم، جدول انرژی دریافتی واقعی به دو دورهٔ گرم و سرد تقسیم شد. برای انجام این کار، دمای ۲۱ درجه به‌عنوان مرز تفکیک دورهٔ سرد از گرم تعیین شد. سپس، با توجه به نمودار محاسبهٔ دمای مؤثر برای استخراج مواقع گرم و سرد سال، جدول تقویم نیاز آب‌وهوایی تنظیم شد.

جدول ۲– محاسبهٔ مقدار ضرایب تابش ($\cos \varphi - \phi$) درماه ژانویه[1]

مأخذ: نگارندگان، ١٣٩٦

Q	١١٧/٦	١٢٦/٨	١٣٧/٥	١٥٠	١٦٤/٤	١٨٠	١٦٤/٤	١٥٠	١٣٧/٥	١٢٦/٨
β	٢/٧	٧/٦	١٦/٥	٢٣/٧	٢٨/٤	٣٠	٢٨/٤	٢٣/٧	١٦/٥	٧/٦
cos β	٠/٩٩٨	٠/٩٩١	٠/٩٥٨	٠/٩١٥	٠/٨٧٩	٠/٨٦٦	٠/٨٧٩	٠/٩١٥	٠/٩٥٨	٠/٩٩١
ساعت	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦
٠										
١٥										
٣٠	٠/٠٤									
٤٥	٠/٢٩٨	٠/١٤١								
٦٠	٠/٥٣٤	٠/٣٩	٠/٢							
١٨٠	٠/٤٦٢	٠/٥٩٣	٠/٧٠٦	٠/٧٩٢	٠/٨٤٦	٠/٨٦٦	٠/٨٤٦	٠/٧٩٢	٠/٧٠٦	٠/٥٩٣

١. برای رعایت فضای نگارشی مقاله، جدول‌های ۲، ۳ و ٦ به‌صورت خلاصه طرح شده‌اند.

به‌این‌صورت امکان تشکیل جدول دوره‌های سرد و گرم فراهم شد. برای سهولت درک فراوانی مقادیر تابش براساس جدول‌های ذکرشده، نمودار مقادیر تابش آفتاب بر جهات مختلف ساختمان در مواقع مختلف سال ترسیم شد و به‌این‌ترتیب، توزیع و مقادیر تابشی در جهات بیست‌وچهارگانهٔ شهر مشهد به‌دست آمد.

برای اولویت‌بندی سمت اصلی نمای ساختمان‌ها و کشیدگی خیابان‌ها ازطریق طراحی جدولی، میزان تفاضل میان دوره‌های سرد و گرم محاسبه شد و بیشترین فاصله میان دو دوره به‌عنوان اولویت اول انتخاب شد. به‌عبارت‌دیگر، از جهات بیست‌وچهارگانه فقط یکی از آن‌ها

جدول ۳- محاسبهٔ مقادیر شدت تابش در ماه ژانویه ($IN=A/expB/\sin\beta$) برحسب $BTU/H/FT^2$

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

β	۲/۷	۷/٦	۱٦/٥	۲۳/۷	۲۸/٤	۳۰	۲۸/٤	۲۳/۷	۱٦/٥	۷/٦
sinβ	۰/۰٤۷	۰/۱۳۲	۰/۲۸٤	۰/٤۰۲	۰/٤۷٥	۰/٥	۰/٤۷٥	۰/٤۰۲	۰/۲۸٤	۰/۱۳۲
exp	۲۰/٥	۲/۹	۱/٦٤	۱/٤۲	۱/۳٥	۱/۳۳	۱/۳٥	۱/٤۲	۱/٦٤	۲/۹
IN	۱۹	۱۳٤/٥	۲۳۷/۸	۲۷٤/٦	۲۸۸/۹	۲۹۳/۲	۲۸۸/۹	۲۷٤/٦	۲۳۷/۸	۱۳٤/٥
ساعت	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦
۰										
۱٥										
۳۰	۰/۷٦									
٤٥	٥/٦	۱۸/۹								
٦۰	۱۰/۱	٥۲/٤	٤۷/٥							
۷٥	۱۳/۹	۸۲/۳	۱۰٥/۱	٦٤/۸	۲/٦					
۱۳٥	۱۸	۱۳۱/۸	۲٦/٦	۲٤۲/٥	۲۲۱	۱۷۹/٤	۱۲٤/٥	٦٤/۸	۹/۷	
۱۸۰	۸/۸	۷۹/۷	۱٦۷/۸	۲۱۷/٤	۲٤٤/٤	۲٥٤	۲٤٤/٤	۲۱۷/٤	۱٦۷/۸	۷۹/۷

جدول ٤ – ضریب‌های ساعت آفتابی ماهانه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۰/٤٥	۰/٤۷	۰/٤٦	۰/٥٦	۰/٦٤	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸	۰/۸۱	۰/٦۹	۰/٥٦	۰/٤٦

بیشترین تفاوت میان انرژی دریافتی دورهٔ سرد و گرم را داشت که به معنای حداکثر دریافت انرژی در زمستان و حداقل دریافت انرژی در تابستان محسوب می‌شد. به‌همین‌ترتیب، دومین و سومین مقادیر بعدی با تفاضل کمتر نسبت به مورد اول، به‌عنوان اولویت‌های دوم و سوم تعیین شدند. درنهایت، با توجه به خروجی‌های به‌دست‌آمده از این جدول، نمودار جهت‌های مطلوب ساختمان و کشیدگی خیابان‌ها و معابر ترسیم شد و در پایان، پس از مطالعهٔ وضعیت موجود نقشهٔ شهری و طبقه‌بندی جهت بلوک‌ها و کشیدگی خیابان‌ها، پنج پلی‌گون A, B, C, D, E به‌عنوان وضعیت غالب در مناطق مختلف شهری انتخاب شدند و با توجه به نزدیکی پلی‌گون A به وضعیت مطلوب، این گزینه به‌عنوان الگوی سازگار با نتایج مطالعه معرفی شد.

۳. ۲. منطقهٔ موردمطالعه

کلانشهر مشهد با مختصات ۳٦ درجه و ١٦ دقیقهٔ عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقهٔ طول شرقی[۱]، در شمال شرق ایران و در زیرحوضهٔ کشف‌رود در جنوب غرب حوضهٔ آبریز قره‌قوم (ولایتی و توسلی، ۱۳۷۰، ص. ٤۹) استقرار یافته است. این شهر با ارتفاع ۹۹۹/۲ متر در میان دشتی به همین نام و در حدفاصل دو رشته‌کوه هزارمسجد و کپه‌داغ از شمال شرق و بینالود و آلاداغ از جنوب غرب قرار دارد. شهر مشهد روی اقلیم‌نمای آمبرژه در منطقهٔ خشک سرد قرار می‌گیرد (علیزاده، ۱۳۸۷، ص. ۲۷۵) و زمستان با ١٤۵ روز طولانی‌ترین فصل سال است (علیجانی، ۱۳۷۷، ص. ٢٦). درپی افزایش جمعیت در دهه‌های اخیر، تخریب و نوسازی، تغییر کاربری و اشغال بسیاری از زمین‌ها، شهر مشهد شاهد شکل‌گیری بافت جدیدی در اطراف بافت مرکزی خود و الگوی شطرنجی بوده است. بررسی معماری، میزان تراکم ساخت‌وسازها، سطح زیراشغال، مشخصات فنی ساختمان‌ها و غیره در بافت جدید نشان‌دهندهٔ عدم بهره‌مندی از استانداردهای منطبق‌بر محیط طبیعی و اقلیمی در ساخت‌وسازها است. تبعات چنین روندی، تحمیل شرایط دمایی محیط‌های باز بر محیط‌های داخلی و نیاز به تعدیل‌شدن بخشی به شرایط دمایی در فضاهای تحت‌کنترل، ازطریق استفاده از وسایل و تجهیزات فعال گرمایشی و برودتی در فصول مختلف است که این خود باعث افزایش میزان

۱. مختصات ایستگاه هواشناسی مشهد لحاظ شده است.

مصرف انرژی برق و سوخت‌های فسیلی و تحمیل هزینه‌های روزافزون بر مصرف‌کنندگان شهری شده است.

٤. مبانی نظری تحقیق

طراحی اقلیمی را می‌توان یکی از شاخه‌های اقلیم‌شناسی کاربردی قلمداد کرد که با استفاده از آن می‌توان عناصر اقلیمی هر مکانی را ازطریق ایجاد تغییراتی در محیط فیزیکی، درراستای تأمین شرایط آسایش به‌کار گرفت. ایجاد شرایط آسایش، برقراری تعادل حرارتی میان بدن و محیط اطراف است که ازجمله نیازهای اولیه برای تأمین سلامتی محسوب می‌شود (کسمایی، ۱۳۸۲، ص. ۱۳) و ایجاد سازگاری با وضعیت آب‌وهوایی محل از راه‌های دست‌یابی به این هدف به‌شمار می‌آید. برای انطباق با شرایط اقلیمی و اتخاذ هر نوع تصمیمی، شناخت منطقهٔ آسایش ضروری است. محققان مختلف مدل‌های متعددی را در رابطه با تعیین منطقهٔ آسایش پیشنهاد کرده‌اند که عنصر تابش آفتاب از عناصر مهمی است که همزمان می‌تواند تحت شرایطی، باعث گستردگی منطقهٔ آسایش (کسمایی، ۱۳۸۲، ص. ۱۷) یا ایجاد محدودیت در آن شود. افزون‌براین، مدیریت کسب انرژی خورشیدی و استفاده از شیوه‌های غیرفعال (طاهباز و همکاران، ۱۳۹۲، ص. ٦۱) درراستای توسعهٔ پایدار نیز نیازمند درک شرایط تابشی هر مکان محسوب می‌شود؛ بنابراین، کنترل میزان دریافت انرژی تابشی را می‌توان از اهداف برنامه‌ریزی محیطی برای بهره‌برداری بهینه از امکانات محیطی درنظر گرفت (طاوسی و همکاران، ۱۳۹۰، ص. ۵). یکی از راه‌های دست‌یابی به این هدف، طراحی ساختمان و انطباق آن با شرایط آب‌وهوایی است (علیجانی، ۱۳۷۳، ص. ٤۸) که انجام برخی از آن‌ها گاهی سبب جهت‌گیری معابر، بلوک‌های ساختمانی و شریان‌های ارتباطی می‌شود و علاوه‌بر احیای شرایط راحتی در محیط‌های بسته، مدت حضور افراد در فضاهای بیرون را نیز تحت‌تأثیر خویش قرار می‌دهد؛ بنابراین، راهبردهای فراوانی در این ارتباط طرح شده است که غالب آن‌ها معماری بناها، نوع مصالح ساختمانی و پراکندگی فضای سبز را در دستور کار خود قرار داده‌اند. مطالعهٔ معماری بومی نقاط مختلف کشور راهنمای مناسبی برای بهره‌گیری از آن‌ها در طراحی مساکن و معابر در ارتباط با تابش به‌حساب می‌آید؛ اما، محاسبهٔ دقیق میزان تابش و کیفیت دریافت آن به‌تفکیک دوره‌های گرم و سرد سال (منطبق با اقلیم اکثر نقاط ایران) شیوه‌ای است که با

به‌کارگیری آن در طراحی فضاهای فیزیکی به‌خصوص نواحی شهری می‌توان علاوه‌بر تأمین نیازهای آسایشی، باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها شد و عمل به آن را گام بلندی درراستای تحقق توسعهٔ پایدار قلمداد کرد.

۵. یافته‌های تحقیق

براساس خروجی محاسبات و طبقه‌بندی شاخص حرارتی پی.ای.تی، تمام طبقات تنشی به‌جز تنش گرمایی بسیار زیاد، درطول سال در شهر مشهد مشاهده می‌شود. تنش سرمایی بسیار زیاد در ۱۹/۸ درصد از موارد بیشترین تداوم را در ماه‌های دسامبر تا فوریه در برمی‌گیرد. تنها در ماه‌های آوریل، می، سپتامبر و اکتبر است که شرایط آسایش به شکل پراکنده در ساعات صبحگاهی، میانهٔ روز و بعدازظهر مشاهده می‌شود. تنش گرمایی اندک تا زیاد نیز به‌تدریج در ماه می و در میانهٔ روز آغاز می‌شود و در جولای، با برخورداری از تنش گرمایی زیاد به‌خصوص در مساعات ۹ تا ۱۵ به اوج خود می‌رسد. در بررسی چگونگی شاخص حرارتی پی ام وی، وضعیت درصد تداوم تنش سرمایی و گرمایی و شرایط آسایش، بسیار به وضعیت شرایط حرارتی در شاخص پی.ای.تی شبیه است؛ اما، توزیع زمانی و نیز شرایط دمایی درطول سال در شاخص پی.ام.وی، بیانگر تداوم بیشتر شرایط تنش سرمایی بسیار زیاد تا زیاد نسبت به نتایج به‌دست‌آمده از شاخص پی.ای.تی است؛ به‌گونه‌ای‌که درمقابل ۱۹/۸ درصد از موارد تنش سرمایی بسیار زیاد به‌دست‌آمده در شاخص پی.ای.تی، تداوم زمانی این تنش در شاخص پی.ام.وی به ٢٦ درصد می‌رسد (جدول ۵):

جدول ۵- توزیع فراوانی آستانه‌های شاخص‌های PET و PMV در شهر مشهد

مأخذ: نگارندگان، ١٣٩٦

نوع تنش	فراوانی مطلق (f_i)		درصد فراوانی (p%)		فراوانی تجمعی (F_c)		درصد فراوانی تجمعی (F_c٪)	
	PET	PMV	PET	PMV	PET	PMV	PET	PMV
تنش سرمایی بسیار زیاد	١٩	٢٥	١٩/٨	٢٦	١٩	٢٥	١٩/٨	٢٦
تنش سرمایی	١٥	١٢	١٥/٦	١٢/٥	٣٤	٣٧	٣٥/٤	٣٨/٥
تنش سرمایی ملایم	٨	١١	٨/٣٣	١١/٥	٤٢	٤٨	٤٣/٧	٥٠
تنش سرمایی اندک	١٢	٧	١٢/٥	٧/٣	٥٤	٥٥	٥٦/٢	٥٧/٣
بدون‌تنش (آسایش)	١٢	١٢	١٢/٥	١٢/٥	٦٦	٦٧	٦٨/٧	٦٩/٨

ادامه جدول ۵

نوع تنش	فراوانی مطلق (f_i)		درصد فراوانی (p%)		فراوانی تجمعی (F_c)		درصد فراوانی تجمعی (F_c٪)	
	PET	PMV	PET	PMV	PET	PMV	PET	PMV
تنش گرمایی اندک	۱۶	۱۴	۱۶/۶	۱۴/۶	۸۲	۸۱	۸۵/۴	۸۴/۳
تنش گرمایی ملایم	۱۲	۱۱	۱۲/۵	۱۱/۵	۹۴	۹۲	۹۷/۹	۹۵/۸
تنش گرمایی زیاد	۲	٤	۲	٤/۱	۹٦	۹٦	۱۰۰	۱۰۰
تنش گرمایی بسیار زیاد	۰	۰	۰	۰				

مقادیر انرژی دریافتی به‌تفکیک جهت‌های بیست‌وچهارگانه حکایت از آن دارد که انرژی دریافت‌شده در جهات غربی و شرقی با یکدیگر متقارن هستند. تفاوتی که وجود دارد این است که جهت جنوب بیشترین مقدار انرژی دریافتی را ندارد؛ درحالی‌که جهت‌های ۱۵۰± درجه با مجموع ۱۵۳۲۰ BTU، بیشترین مقدار را درطول سال کسب می‌کند. جهت شمال نیز با مقدار ۱۹۸ BTU کمترین میزان انرژی را در کل سال به‌خود اختصاص داده است؛ به این دلیل که جهت یادشده فقط در ماه‌های می تا سپتامبر؛ یعنی، زمانی که موقعیت خورشید از افق به بالاترین مقدار خود می‌رسد، امکان دریافت تابش را پیدا می‌کند. توزیع زمانی انرژی سالانه نیز نشان می‌دهد که ماه سپتامبر با دریافت ۱۳۳۲۰ BTU بیشترین مقدار انرژی را درطول سال دریافت می‌کند که حاکی از انحراف زمانی میزان انرژی دریافتی با حداکثر ارتفاع تابش در جولای است (جدول ٦):

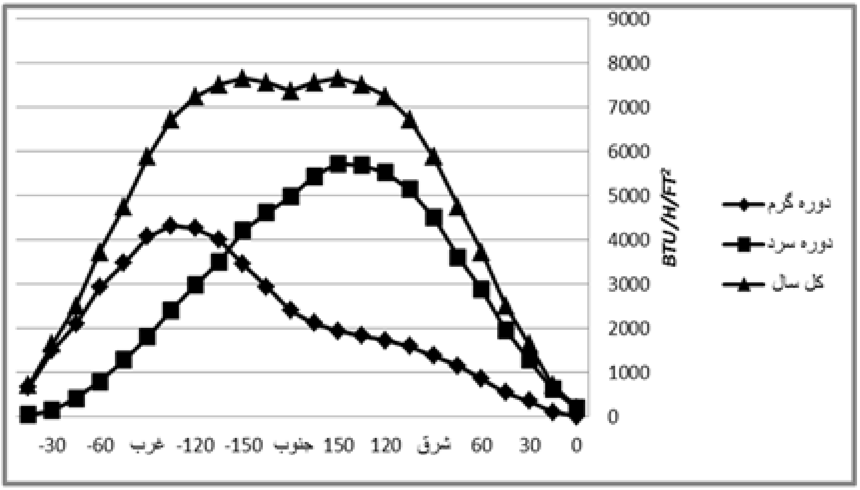
جدول ٦- مجموع انرژی دریافتی واقعی سطوح قائم در دوره‌های سرد و گرم با احتساب ضریب ساعات آفتابی به $BTU/H/FT^2$

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

سمت	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۰					۸/۳	٤۸/۸	۷۹/۷	۵۱/۵	۹/۵٦			
۱۵			٤/۵۲	۷/۵٦	٦۰	۱٦۰/٦	۲۱۰/۵	۱٦٦/۷	٦۵	۲۵/۲۵	۵/۸	
۳۰	۰/۳٤	۱٤/٤۷	۲۵	۲٤/۱	۱۵۹/۳	۳۵۵/۵	٤۲٦	۳۱۰/۲	۲۰٦	۸٤/۷	۳۱/۲٤	۰/٤
٤۵	۱۱/۰۲	۷۵/۵	۷۷	۱۲۱/۵	۲۷۱/٤	٤۳۵	۵۰۲/٤	۳۷۲/٤	۳۵۷/۸	۱۷٦/۲	۸۸/۳	۱۹
۹۰	۲۱۲/٤	۳۹۸/۲	۳۳۸/٤	۳۹۷/۵	۵٤۲/۸	٦۸۸/٦	۷۲٦/۱	۷۱۷/۳	۷٤۷/۱	٤۷۸	٤۰۰/۵	۲۳۸/۳
جمع	٦٦۷۵/۹	۹۸۹٤/۵	۸۲۷۲/٤	۸۵٦۱/٦	۹۸۸۱	۱۱٦۸۸/۸	۱۲۰۳۸/۲	۱۱۹۳۰	۱۳۳۲۰	۹٦۷۳/۲	۱۰۰۸۵/۲	۷۳۷۵/۲

با توجه به اینکه حجم انرژی دریافتی به‌دلیل نبود یکنـواختی در دریافـت انـرژی درطـول سال، نمی‌تواند معیار تعیین‌کننده‌ای در جهت‌گیری ساختمان‌ها و خیابان‌ها تلقی شود، ازاین‌رو، توزیع دریافت انرژی درطول سال ملاک واقعی برای تصمیم‌گیری خواهد بود؛ براین‌اسـاس، بـا توجه به تفکیک ایام سال به دوره‌های گرم و سرد، نگرش عمیـق‌تـری بـه چگـونگی دریافـت انرژی حاصل می‌شود. مطالعهٔ توزیع انرژی در دوره‌های سرد و گرم نشان مـی‌دهـد کـه طـول دورهٔ سرد در مقایسه با دورهٔ گرم، بخش بیشتر ایام سال را به‌خـود اختصـاص مـی‌دهـد. ایـن نگرش با یافته‌های حاصل از محاسبهٔ شاخص‌های حرارتی که بـیش از **۵۰ درصـد از** سـال را تنش سرمایی به‌خـود اختصـاص داده اسـت و نیـز بـا مطالعـهٔ اسـماعیلی و منتظـری (۱۳۹۲) همخوانی دارد. در این دوره، به‌استثنای بخش‌هایی از طول روز در ماه‌های می تا سپتامبر، تمام ماه‌های سال در محدودهٔ دورهٔ سرد قرار می‌گیرند.

ازآنجایی‌که در اینجا هدف از طراحی اقلیمی افزایش میزان انطبـاق سـاختمان‌هـا و جهـت خیابان‌ها با شرایط حاکم تابشی است، میزان کسب انرژی با توجه به دوره‌هـای گرمـا و سـرما اهمیت می‌یابد؛ براین‌اساس، بیشـترین و کمتـرین میـزان انـرژی در دورهٔ گـرم، بـه‌ترتیـب بـه جهت‌های ۱۰۵- و شـمال و بیشـترین و کمتـرین میـزان انـرژی دریـافتی در دورهٔ سـرد، بـه جهت‌های ۱۵۰+ و ۱۵- متعلق است (شکل ۱):



شکل ۱- میزان انرژی دریافتی روی نمای اصلی ساختمان‌ها در مواقع مختلف سال برحسب

BTU/H/FT²

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

یافته‌های حاصل از محاسبهٔ شرایط اقلیمی و آسایشی نشان‌دهندهٔ آن است که بهترین جهت برای استقرار ساختمان‌ها باید جهتی باشد که بتواند حداقل تابش آفتاب را در مواقع گرم و حداکثر تابش آن را در مواقع سرد دریافت کند. همان‌طورکه در جدول (۷) مشاهده می‌شود، از میان مجموع جهات بیست‌وچهارگانه، جهت ۱۵۰+ درجه بیشترین انرژی را دریافت می‌کند و طبیعی است که باید به‌عنوان گزینهٔ انتخابی برای تعیین سمت استقرار نمای اصلی ساختمان‌ها و درنهایت، به‌عنوان معیاری برای تصمیم‌گیری در ارتباط با کشیدگی خیابان‌ها و معابر پذیرفته شود؛ اما، این گزینش با روش تفاضل‌گیری حاصل از محاسبهٔ اختلاف انرژی میان دوره‌های گرم و سرد در جهت ذکرشده و به استناد معیار کسب بیشترین انرژی در دورهٔ سرد و حداقل در دورهٔ گرم انطباق ندارد. بنابراین، سمت جنوب شرق با کسب انرژی ۵٦۸۷/٦ BTU در دورهٔ سرد و حداقل انرژی ۱۸۲٤/٦ BTU در دورهٔ گرم و با احتساب تفاضل به میزان ۳۸٦۳ BTU، در مقایسه با جهت‌های ۱۲۰ درجه (۳۸۱۰/۹) و ۱۵۰ درجه (۳۷۸۷/۲) از میان جهت‌های ذکرشده به‌عنوان

جدول ۷- اولویت‌بندی جهت‌گیری نمای اصلی ساختمان‌های یک‌طرفه (مقدار انرژی برحسب (*BTU/H/FT²*)[1]

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

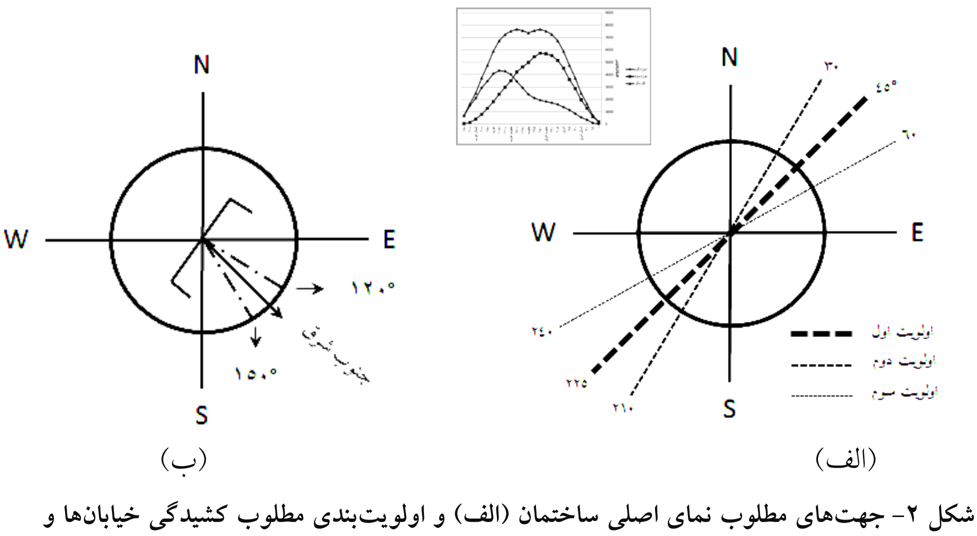
اولویت	اختلاف دورهٔ سرد و گرم		مواقع سرد		مواقع گرم		کل سال		سمت
	سرد	گرم	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	
پانزدهم	۱۷۷	۰	۹٤/۷۵	۱۸۷/٤	۵/۲۵	۱۰/٤	۰/۱٦	۱۹۷/۸	شمال
چهاردهم	۵۱۳/۲	۰	۸٦/۳٦	٦۰۹/۵	۱۳/٦٤	۹٦/۳	۰/۵۹	۷۰۵/۸	۱۵
دوازدهم	۹۳٤/٤٤	۰	۷۸/۵٤	۱۲۸۵/۸٤	۲۱/٤٦	۳۵۱/٤	۱/۳۷	۱٦۳۷/۲٤	۳۰
یازدهم	۱٤۱۲/٤	۰	۷۸/۱٦	۱۹٦۰/۳	۲۱/۸٤	۵٤۷/۹	۲/۱	۲۵۰۸/۲	شمال شرق
نهم	۲۰۲۳/۲	۰	۷۷/۱۹	۲۸۷۱/۹	۲۲/۸۱	۸٤۸/۷	۳/۱۱	۳۷۲۰/٦	٦۰
هشتم	۲٤۵۰/۸	۰	۷۵/۸۱	۳۵۹۹/۸	۲٤/۱۹	۱۱٤۹	۳/۹۷	٤۷٤۸/۸	۷۵
ششم	۳۱٤۰/۵	۰	۷٦/٦۸	٤۵۱۲/۹	۲۳/۳۲	۱۳۷۲/٤	٤/۹۲	۵۸۸۵/۳	شرق
چهارم	۳۵۵۵	۰	۷٦/٤	۵۱٤۳/۷	۲۳/٦	۱۵۸۸/۷	۵/٦۳	٦۷۳۲/٤	۱۰۵
دوم	۳۸۱۰/۹	۰	۷٦/۳	۵۵۲۸/٤	۲۳/۷	۱۷۱۷/۵	٦/۰٦	۷۲٤۵/۹	۱۲۰

۱. برای رعایت اختصار، از نمایش سایر اولویت‌ها صرف‌نظر شد.

ادامه جدول ۷

اولویت	اختلاف دورهٔ سرد و گرم		مواقع سرد		مواقع گرم		کل سال		سمت
	سرد	گرم	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	
اول	۳۸۶۳	۰	۷۵/۷۲	۵۶۸۷/۶	۲۴/۲۸	۱۸۲۴/۶	۶/۲۹	۷۵۱۲/۲	جنوب شرق
سوم	۳۷۸۷/۲	۰	۷۴/۷۳	۵۷۲۳/۲	۲۵/۲۷	۱۹۳۶	۶/۴۱	۷۶۵۹/۲	۱۵۰
پنجم	۳۳۲۹/۶	۰	۷۲/۰۴	۵۴۴۳	۲۷/۹۶	۲۱۱۳/۴	۶/۳۲	۷۵۵۶/۴	۱۶۵
هفتم	۲۵۶۸/۴	۰	۶۷/۴۲	۴۹۷۰/۹	۳۲/۵۸	۲۴۰۲/۵	۶/۱۷	۷۳۷۳/۴	جنوب

گزینهٔ مطلوب انتخاب می‌شود؛ زیرا، باوجود دریافت انرژی کمتر در دورهٔ سرد نسبت به جهت ۱۵۰+ در دورهٔ گرم، انرژی کمتری را نسبت به همان جهت در دورهٔ گرم دریافت می‌کند (شکل ۲– الف)؛ بنابراین، بهترین جهت کشیدگی ساختمان‌ها، جهت شمال شرقی و جنوب غربی است (شکل ۲– ب) و منطبق با این ضابطه، اولویت‌های بعدی را می‌توان به‌ترتیب برای جهت‌های ۱۲۰+ و ۱۵۰+ درنظر گرفت. در بهترین وضعیت، کشیدگی مطلوب خیابان‌ها و معابر باید دارای جهت زاویهٔ آزیموت ۲۲۵– ۴۵ (شمال شرقی– جنوب غربی)، ۲۱۰– ۳۰ برای اولویت دوم و ۲۴۰ –۶۰ درجه برای اولویت سوم باشد. همان‌گونه‌که ملاحظه می‌شود، کشیدگی خیابان‌ها تابعی از جهت استقرار ساختمان‌ها است

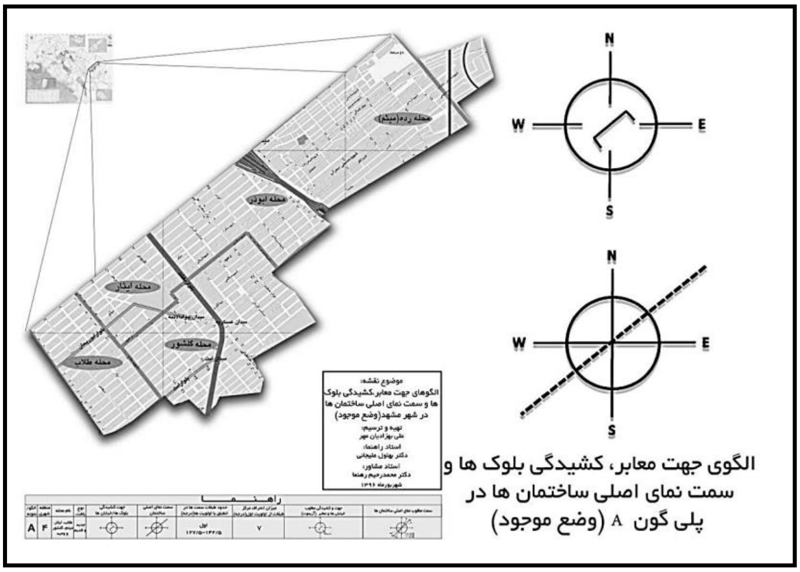


شکل ۲– جهت‌های مطلوب نمای اصلی ساختمان (الف) و اولویت‌بندی مطلوب کشیدگی خیابان‌ها و معابر (ب) با توجه به ضرورت‌های اقلیم تابشی در شهر مشهد

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

و به این دلیل است که اولویت اول برای جهت کشیدگی خیابان‌ها در انطباق با جهت استقرار نمای اصلی ساختمان‌ها، سمت شمال شرقی-جنوب غربی است و به همین شکل، اولوی‌هایت بعدی نیز هم‌جهت با اولویت‌های دوم و سوم جهت استقرار ساختمان‌ها درنظر گرفته شده است. همان‌طورکه در جدول (۷) مشاهده می‌شود، جهت‌های ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه مبنای پذیرش اولویت‌های دوم وسوم قرار گرفتند.

در انطباق با نتایج به‌دست‌آمده و مقایسهٔ آن با وضع موجود نقشهٔ شهری، شکل (۳) را می‌توان به‌عنوان نمونه‌ای از الگوی شناسایی‌شده موردپذیرش درنظر گرفت. بررسی این نقشه نشان می‌دهد که وضعیت سمت استقرار بلوک‌ها و ساختمان‌ها با الگوی سمت مطلوب (جنوب شرق) حدود ۷ درجه اختلاف را نشان می‌دهد (۱۴۲ درجه)؛ اما، با توجه به معیار تعریف‌شده مبنی‌بر پذیرش اولویت اول تا سوم به‌عنوان اولویت‌های موردپذیرش، شکل (۳) را می‌توان معرف وضعیت مطلوب قلمداد کرد.



شکل ۳- الگوی مطلوب نقشهٔ شهری سازگار با نتایج پژوهش

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

جهت مطلوب استنتاج‌شده در این پژوهش با چند یافته نظیر الگوی رعایت‌شدهٔ معماری بومی مناطق سرد ایران مبنی‌بر انتخاب جهت‌های جنوب شرق تا جنوب غرب و جهت جنوب

شرق ساختمان‌ها در مناطق سرد ایالات‌متحده (کسمایی، ۱۳۸۲، صص. ۹٦، ۱۲۷) و نیز جهت ۱۳۵ درجهٔ (جنوب شرق) شهر زنجان (اکبری و همکاران، ۱۳۹۵) کاملاً همخوانی دارد. تعیین اولویت‌های انتخابی با ایدهٔ تعادل‌بخشی دما بین قبل‌ازظهر و بعدازظهر نیز منطبق است.

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر، برای کسب نتایج بهتر، ابتدا با استفاده از شاخص‌های حرارتی پی ام وی و پی ای تی شرایط اقلیم–آسایش شهر مشهد محاسبه شد که براساس آن، شرایط ذکرشده در سه حیطهٔ تنش گرم، آسایش و تنش سرد طبقه‌بندی شد. با توجه به تأثیرگذاری فراوانی هرکدام از حیطه‌ها بر روند پژوهش، جدول توزیع فراوانی هرکدام از محدوده‌های آسایشی محاسبه شد. براساس جدول توزیع فراوانی محدوده‌های آسایشی، مشخص شد که بیش از ۵۵ درصد از موارد درطول سال، شهر مشهد درمحدودهٔ تنش سرد قرار می‌گیرد؛ بنابراین، استفاده از وسایل مکانیکی و غیرفعال برای تبدیل شرایط به مرز آسایش باید دردستور کار قرار گیرند؛ براین‌اساس، تعیین بهترین سمت استقرار ساخمان‌ها و به‌تبع آن، بهترین کشیدگی معابر با هدف کسب بیشترین انرژی در دورهٔ سرد و حداقل انرژی در دورهٔ گرم هدف نهایی قرار گرفت. بدین‌منظور، ازطریق روش قانون کسینوس، پس از محاسبهٔ میزان ساعات نظری و واقعی تابش و دخالت محاسبهٔ دمای مؤثر، کل سال به دو دورهٔ گرم و سرد تقسیم شد. افزون‌براین، برای گزینش بهترین جهت استقرار ساختمان‌ها و کشیدگی خیابان‌ها منطبق با شرایط حاکم تابشی– دمایی، بالاترین اختلاف میزان انرژی در دو دورهٔ سرد و گرم با یکدیگر و در جهت‌های بیست‌وچهارگانه، ملاک تصمیم‌گیری درنظر گرفته شد؛ براین‌اساس، مناسب‌ترین جهت برای استقرار نمای اصلی ساختمان‌ها، جنوب شرق تعیین شد و مطلوب‌ترین کشیدگی خیابان‌ها و معابر نیز در انطباق با جهت بهینهٔ ساختمان‌ها، زاویهٔ آزیموت ۲۲۵–٤۵ (شمال شرقی– جنوب غربی) انتخاب شد. مطالعهٔ وضع موجود و ارزیابی نقشهٔ شهری مشهد و میزان انطباق آرایش فضایی ساختمان‌ها، بلوک‌ها و معابر با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، به‌استثنای اندکی، گویای فاصلهٔ بافت شهری با الگوهای مطلوب اقلیم تابشی است؛ بنابراین، توصیه می‌شود که در نوسازی و توسعهٔ بافت‌های فرسوده و طراحی بافت جدید، ملاحظات اقلیمی نظیر بهره‌مندی از پژوهش حاضر در دستور کار قرار

گیرد و مقررات و ضوابط ضروری در این بخش پیش‌بینی شود. برای بخش‌های طراحی‌شده که با نتایج این پژوهش همخوانی ندارند، با توجه به نوع اقلیم حاکم و مشخصات معماری بومی می‌توان برخی از راهبردها را درنظر گرفت؛ نظیر استفاده از درختان خزان‌دار برای فضای بیرون با هدف انتقال تابش خورشید در دورهٔ سرد و جلوگیری از نفوذ آن در دورهٔ گرم و نیز انتخاب مصالح ساختمانی متناسب با شرایط حاد دمای هوای بیرون و دمای مطلوب داخلی و با مقاومت بالای حرارتی. مزیت به‌کارگیری این راهکارها اتکای کمتر به استفاده از سامانه‌های مکانیکی در تأمین راحتی در فضاهای بسته و نیز امکان اجرایی‌نمودن ازطریق اعمال ضوابط معمول در بخش ساختمان است. انجام این راهبردها می‌تواند علاوه‌بر تأمین شرایط آسایشی فضاهای بسته، مدت ماندگاری مردم در فضاهای باز را افزایش دهد و باعث بهبود شرایط پایداری فعالیت‌های شهری شود.

کتابنامه

۱. اسکورو، ژ. (۱۳۷۷). *آب‌وهوا و شهر: محیط‌زیست شهری* (ش. خالدی، مترجم). تهران: انتشارات طبیعت.

۲. اسماعیلی، ر.، و منتظری، م. (۱۳۹۲). تعیین محدوده‌های بیوکلیماتیک شهر مشهد برمبنای داده‌های ساعتی. *نشریهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۱*(٢٤)، ۲۳۰– ۲۱۵.

۳. اکبری، ح.، هادوی، ف.، زمانی، م.، و علیپور، ی. (۱۳۹۵). تعیین جهت‌های مناسب استقرار ساختمان به‌منظور دریافت بهینهٔ تابش خورشیدی در شهر زنجان. *نشریهٔ آمایش محیط، ۳۳*(۹)، ۱۷۳– ۱۵۵.

٤. شاطریان، ر. (۱۳۹۲). *اقلیم و معماری*. تهران: انتشارات سیمای دانش.

۵. شفیعی، م.، فیاض، ر.، و حیدری، ش. (۱۳۹۲). فرم مناسب ساختمان بلند برای دریافت انرژی تابشی. *نشریهٔ انرژی ایران، ٤*(١٦)، ٦٠ –٤٧.

٦. شیخ بیگلو، ر.، و محمدی، ج. (۱۳۸۹). تحلیل عناصر اقلیمی باد و بارش با تأکید بر طراحی شهری (مطالعهٔ موردی: شهر اصفهان). *نشریهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی،۳*(۲۱)، ۸۲–٦١.

۷. طاهباز، م.، جلیلیان، ش.، و موسوی، ف. (۱۳۹۱). آموزه‌هایی از معماری اقلیمی گذرهای کاشان: تحقیق میدانی در بافت تاریخی شهر. *نشریهٔ مطالعات معماری ایران*، (۱)، ۸۳ – ۵۹.

۸. طاوسی، ت.، عطایی، ه.، و کاظمی، آ. (۱۳۸۷). اقلیم و معماری مدارس نوساز شهر اصفهان. *نشریهٔ جغرافیا و توسعه،۱۱*(٦)، ۱۱٤–۹۷.

۹. علیجانی، ب. (۱۳۷۳). نگرشی نو در کاربرد آب‌وهواشناسی در مدیریت منابع و توسعهٔ کشور: نقش آب‌و هوا در طراحی مسکن. *نشریهٔ تحقیقات جغرافیایی*، *۳۵*، ٦۱-٤۵.

۱۰. علیجانی، ب.(۱۳۷۷). تعیین فصول طبیعی ایران. *نشریهٔ پژوهش های جغرافیایی*، *۳٤*، ۳۳- ۲۱.

۱۱. علیزاده، ا. (۱۳۸۷). *اصول هیدرولوژی کاربردی*. مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).

۱۲. فرجزاده، م.، و عباسی، م. (۱۳۹۱). بهینه‌سازی جهت ساختمان‌های شهر قیر در رابطه با تابش آفتاب. *فصلنامهٔ جغرافیایی سرزمین*، *۳۵* (۹)، ۵۹ – ٤۳.

۱۳. کسمایی، م. (۱۳۸۲). *اقلیم و معماری*. اصفهان: انتشارات خاک.

۱٤. لشکری، ح.، و پورخادم نمین، ز. (۱۳۸٤). بهینه‌سازی جهت‌گیری فضاهای آزاد در شهر اردبیل براساس شرایط اقلیمی. *نشریهٔ تحقیقات جغرافیایی*، *۷۹*، ۳٦-۱۹.

۱۵. لشگری، ح.، موزرمی، س.، و لطفی، ک. (۱۳۹۰). آسایش در خارج و داخل بنا بر اساس شاخص پن واردن و ماهانی، نمونه موردی: شهر اهواز. *نشریه پژوهشی جغرافیای انسانی*، ۲ (۳). ۲۲۰ – ۲۰۷.

۱٦. محمدی، ح. (۱۳۸۵). *آب‌وهواشناسی کاربردی*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۱۷. محمدی، ز.، و لشکری، ح. (۱۳۹۳). *آب‌وهواشناسی کاربردی (معماری-توریسم)*. تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد شهید بهشتی.

۱۸. مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن. بازیابی‌شده از: https://www.amar.org.ir

۱۹. ملک‌حسینی، ع.، و درگاهی، م. م. (۱۳۸۹). تحلیل ویژگی‌ها و اصول معماری همساز با اقلیم سرد (مطالعهٔ موردی: شهر همدان). *فصلنامهٔ جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس*، *٤*(۲)، ۳۵-۲۳.

۲۰. منشی‌زاده، ر.، حسینی، س. ا.، و اجاق، ع. (۱۳۹۲). آسایش حرارتی و تأثیر ارتفاع ساختمان‌ها بر خرداقلیم فضاهای شهری، نمونهٔ موردی: خیابان شهرداری تهران (حدفاصل میدان تجریش تا میدان قدس). *فصلنامهٔ آمایش محیط*، ۲۰ (٦)، ۱۲٦- ۱۰۹.

۲۱. ولایتی، س.، و توسلی، س. (۱۳۷۰). *منابع و مسائل آب استان خراسان*. مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.

22. Alcoforado, M., Andrade, H., Lopes, A., & Vasconcelos, J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning: The example of Lisbon (Portugal). *Journal of Landscape and Planning*, *90*, 56-65.
23. Assis, E., & Frota, A. H. (1999). Urban bioclimatic design strategies for a tropical city. *Journal of Atmospheric Environment*, *33*, 4135-4142.
24. Jankovic, V., & Hebbert, M. (2009, April). *Hidden climate change: Urban meteorology and the scales of real weather*. Paper presented at the RGS-IBG

Annual Conference on Progress in Diverse Types of Automata Systems in Social Simulation, Manchester University, Manchester, UK.

25. Matzarakis, A., & Amelung, B. (2007). Climate, thermal comfort and tourism climate change and tourism: Assessment and coping strategies. In B. Amelung, K. Blazejczyk, & A. Matzarakis (Eds.), *Climate change and tourism: Assessment and coping strategies* (pp. 140-154). Freiburg-Warsaw-Maastricht: Own Publishing.
26. Mills, G. (2006). Progress toward sustainable settlements: A role for urban climatology. *Theoretical and Applied Climatology, 84,* 69-76.